



航 空 工 程

航空太空工業的重要性

備役少將 邢有光、副教授 孫允平
副教授 梁燕祝、空軍上校 張政仁

壹、前言

近幾年，企業經營配合網路化快速發展，讓各項產品的競爭產生劇烈的變化，價格更透明，出貨更迅速，產品更多元與客製化需求更方便。最明顯的例子在電子商務的發展，讓實體店面的需求轉型，同時也促成宅急便快遞公司蓬勃發展。而雲端技術的開發，協助這些資料系統的建立，讓營運成本降低，包括待料時間減少，儲存備料量降低，生產工時縮短都是全世界各地企業發展的現在進行式。對於各國政府，無不卯足勁致力於發展一個高附加價值的產業，帶動整個國家經濟力的提升，航空太空工業就是經濟的火車頭，它所需要相關涉獵的人才極廣，一架飛機的各組件訂單可以養活好幾萬人口的就業。本文在此詳細的介紹航太工業所需培養的能力，並介紹整體供應鏈市場的脈絡，期待未來台灣能重新回到航太工業的競爭市場，帶動國家的就業市場。

貳、目前全球航空太空產業發展

一、全球航空太空產業特性：

要製造一架飛機或太空載具，是複雜的系統整合與多項技術研究的成果，在全球化趨勢下，沒有任何一家公司可以在一個區域性範圍獨立完成所有的產品，歐洲的空中巴士如此，美國的波音公司亦然，因為買家來自世界各地，適度地在當地生產，除了減少運輸成本外，彼此互惠下所衍生的訂單更是龐大商機。例如一架空中巴士A380的生產線，來自德國的機身中段與垂直尾翼、英國的主翼、法國的機頭、西班牙的水平尾翼等，都是跨國的供應鏈市場。

航空工業相關的主要產業極廣，各領域有關連性，一個興盛的航太產業發展，幾乎容納各個領域的工業與管理、品保、法律法規等產業。所以航空太空

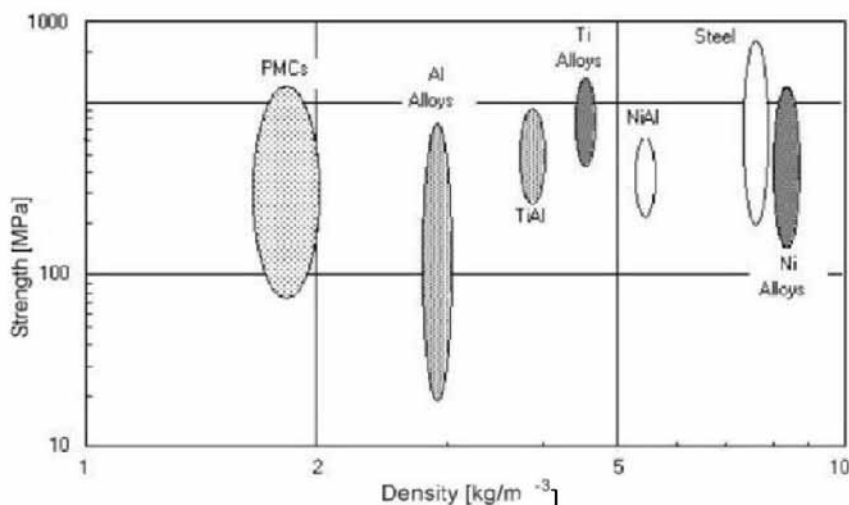


工業傳統以來一直是創新工業與製造技術發展的領頭羊。地球生存環境的保護聲浪與人類居住生活品質提升的要求，隨時隨地都是趨動這些創新研發的關鍵因素，舉高階材料工程的應用為例，它不但明顯地改善了經濟效應，在延緩地球暖化的生態上同時有顯著的效果。材料工程發展的關鍵趨勢在(1)減輕重量，(2)提升產品應用特殊功能，(3)降低成本^[1]。在飛具設計上，這是一種滾雪球的效應，一旦飛行載具各部分的功能材料被提升，製作過程降低成本，而且減少重量，翼面積可以減少，飛具推重比(power to weight ratio)提升，可降低引擎推力或縮短飛行時間，燃油消耗量可縮減，環境品質可以提升，這是環環相扣的循環設計，一旦一個重要因素改善，其他的設計將會隨之牽動，最後達到最佳的產品。航空太空工業所需要的各個相關研究與技術領域如下所細分(如圖一，內圖A380產品示意圖來自http://users.skynet.be/spotterfreak/images/A380parts_01.gif)。

- (一) 基礎研究：包括化學工業基礎研究(匿蹤塗料、推進系統燃料、環保概念研發無污染的噴漆及電鍍)、電子工業基礎研究(航電系統、電裝)、材料工業基礎研究(抗腐蝕、環保、更耐高溫、更強、超輕、多功能複合材料之研發包括可控透光之座艙、飛機輪胎之摩擦材料、需要特殊功能之導電、磁、阻尼、與既可耐高溫又可抗低溫之外太空材料等新型材料之研發)、加工技術基礎研究(精密加工)。

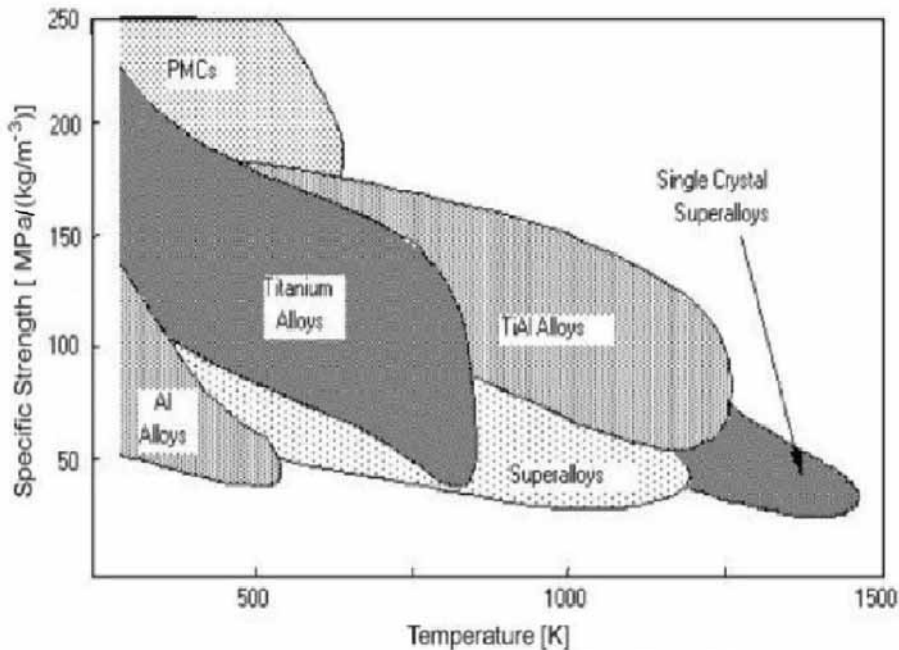


圖一 全球航空產業特性：涵括工程、商業、管理、法律等領域



圖二 材料的強度與密度^[1]

- (二) 化學：包括高分子化學技術(複合材料的纖維fiber與基體matrix會因為此技術之提升而研發產出抗高溫、耐振、抗撞擊等不同功能的產品), 表面處理技術(匿蹤塗料需要此技術之精進), 鍍膜鍍層技術(除了匿蹤塗料需要外, 此技術之提升對於各材料防腐蝕處理有很大的幫助)
- (三) 材料：包括複合材料開發技術, 單晶材料開發技術, 超合金材料開發技術, 精密鑄造、鍛造技術。航空材料, 如圖二材料的強度與密度所展示, 高分子複材(PMC)最好, 金屬合金以鋁(Al)和鈦(Ti)合金為最佳首選。在溫度考量上, 如圖三, 單晶體超合金(Single Crystal Super alloys)可以忍受1200度K的最高溫, 鋁或鈦合金和高分子複材就無法忍受那麼高溫, 約500到750度K的範圍。因此, 結構材料設計上已經不能像過去一般一路用到底, 針對不同功能設計不同區段的材料, 應用到飛機或太空載具上已經是例行公事。長期使用考量, 會將這些材料進行防熱塗層, 再提高其耐熱度, 同時可以利用纖維加強抗破裂能力以增加其強度, 這都是功能提升的方向之一。
- (四) 機械與電機：傳統加工技術, 精密加工技術, 非傳統加工技術, 自動化工業技術, 電機工業技術。這是大學機械與電機相關科系需要上的基本課程, 但隨著時代的演變, 願意到這些科系就讀的學生漸漸少了。
- (五) 電子資訊：航空、太空通訊技術, 電子遙控技術, 資訊工業技術, 雷達技術, 網路技術。各式各樣訊號技術的改良、創新、和新舊介面的整合, 不但可以提升舊有裝備, 同時各種電子資訊需求加強與技術提升, 一直是這些供應



圖三 材料的強度與溫度^[1]

鏈快速發展的主因。

(六) 品保驗證：航空器材檢驗，航空器材規範與標準，可靠性技術，品保、品管技術。非破壞檢測與各式測試機台，如發動機引擎測試台、螺旋槳葉片靜/動態穩定測試、液/氣壓系統測試台、以及電裝/轉速等各種高價昂貴且配合飛機機型可能不同型號都需要建置的測試設備，一直是擁有飛機後，所需要解決的後續維護/翻修/保養問題。配合各個型號其規範與標準，以及可靠性增強的技術，都考驗著品保與品管和各個維修部門的功力。

(七) 商業管理：系統整合技術，採購承包技術，資產管理技術，市場行銷技術，國際合作技巧以及相關法規資訊。商業管理就如推動這塊產業的皮帶，核心技術的馬達沒有齒輪構建各種功能及皮帶的連結帶動，根本無法成就一個完整的航太工業。

二、參與發展航太工業國家與契機：

目前有能力參與航太工業發展的國家，包括：美國、加拿大、巴西、瑞士、法國、德國、西班牙、英國、以色列、義大利、印度、俄羅斯、中國、日本、南韓、澳洲、和台灣。但台灣實際上已經呈現退化現象，中國大陸同時也是製造飛機組件的供應鏈之一，相較於十多年前，台灣的發展遠在中國大陸之上，但是隨著時間的改變，當航太工業不列入政府重點發展時，就逐漸地人才外



全球發展航太工業的國家

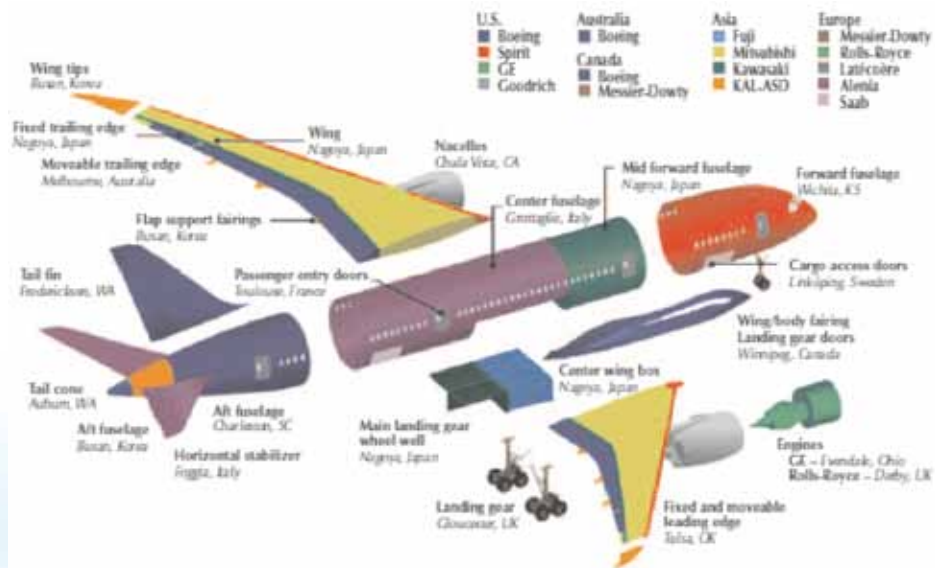


圖四 全球發展航太產業國家

流以及欠缺競爭力。發展航太工業中的國家有：墨西哥、波蘭、捷克、泰國、馬來西亞和印尼。圖四為上列提及的國家分佈圖，世界地圖下載自^[2]。

三、國際化的供應鏈：

如前所述，航太產業的供應鏈市場不再只侷限在一個產地或國家，因為人



圖五 B787 Boeing Dreamliners: supply chains^[3]



工成本，開發環境，如當地的關稅、工廠營運的管理費用、對於汙染或環保議題的嚴苛度（發動機試車台很難做到不影響周遭環境的噪音分貝），都是造成飛機製造業外移的因素。今日的航空工業之競爭，已演變成供應鏈市場的競爭，下圖五為波音B787所有產品的供應鏈，包括美洲、澳洲、亞洲和歐洲的供應線，公司涵蓋很多大

家耳熟能詳的公司大廠，包括波音、GE、Goodrich、Fuji、Mitsubishi、Kawasaki、Rolls Royce、Saab等。大家無不想方設法地搶佔這些供應鏈市場。

綜觀這些供應鏈市場，大致分成四大類（如圖六），（Tier 1）OEM原廠設計製造之供應廠，（Tier 2）各分段主要的設計組裝廠，（Tier 3）零件製造及次組裝廠，（Tier 4）零組件組裝廠。全世界沒有一個公司有能力單獨完成設計製造一架飛機，台灣應該盡量脫離Tier 4的零組件組裝廠，努力朝向Tier 2或Tier 3的高層次設計與加工的工作，如圖六中所期待的位置，才能創造經濟蓬勃發展的新契機。



圖六 航太產業的供應鏈市場分類

參、結語

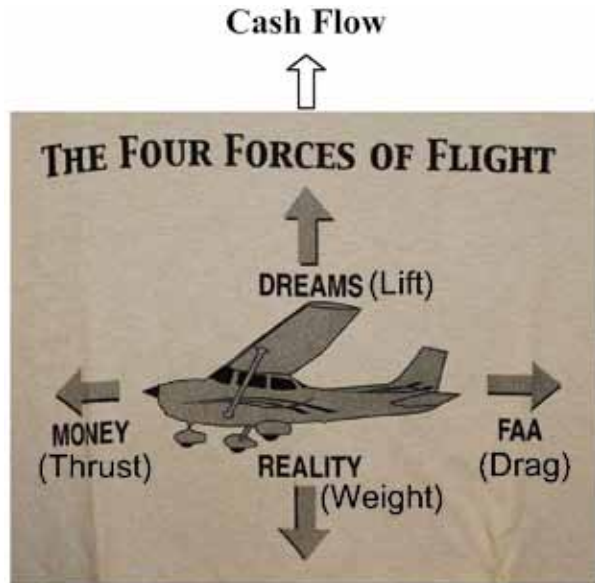
大學時候，學習飛機設計，最基礎的飛行四力，大家都會異口同聲地回答：升力Lift、重力Weight、推力Thrust、阻力Drag。圖七為作者在Aerospace Engineering雜誌讀到的文章，這張圖的比喻讓人覺得很有趣，但經過這麼多年，真的是感同身受。夢想有如升力，帶動飛機起飛；但夢想往往必須遷就現實而導致很多設計專案延遲，有如重力與生俱來；FAA法規限制有如飛機的阻力般阻礙著飛機過度激進不安全的設計；最重要的是必須要有錢推動著航空工業前進。知識經濟因為雲端技術的發展而更上一層樓，很多資料層層疊疊地分佈，如何有組織、有效率地應用它，就是資料探勘的主題。航太產業是個很大的知識庫，再加上大量網路應用、供應鏈廠家多元、客製化需求，導致資訊生產速度激增，學習方式丕變，更孕育知識經濟與分工細緻的另一種工業時代。利用這些雲端資料的搜尋與整理（探勘），更精



細地整理出對於各個部門或領域所需要的關鍵資訊，除了各部門怎麼自我學習進化外，怎麼和其他部門或上下游供應鏈廠的合作，都是增加效率與降低成本的關鍵。我們需要知識經濟企業來發展國家經濟的再起飛，航太產業可以帶動產業結構改變、經濟效益擴大、更是國力提升的展示，發展航空工業需要政府強力支持，是甚麼讓飛機飛起來，是源源不絕的經費支持。

肆、參考文獻

- [1]. M. Peters and C. Leyens, Aerospace and Space Materials, Encyclopedia of Life Support Systems, Materials Science and Engineering, Vol-III, Oxford, UK.
- [2]. https://www.lib.utexas.edu/maps/world_maps/world_pol02.jpg
- [3]. http://img.deusm.com/designnews/141/141019-Several_different_companies_were_responsible_for_design_and_manufacturing_of_various_parts_of_the_Dreamliner_.gif



(圖片來源：Aerospace Engineering雜誌)

圖七 飛行的四力

作者簡介

空軍備役少將 邢有光

學歷：空軍官校48期、美國科羅拉多大學航太博士，經歷：漢翔航空工業股份有限公司董事長、台灣苯乙烯工業股份有限公司總經理、亞洲航空公司副總經理、經國號戰機(IDF)總工程師、中科院航空研究所副所長、1993美國科羅拉多大學傑出工程校友獎

副教授 孫允平

學歷：國立成功大學航空太空工程研究所博士，現職：正修科技大學機械系副教授
空軍上校 張政仁

學歷：空軍官校79年班、國立成功大學航空太空工程研究所博士，經歷：空軍官校一般教學部航太系副教授，現職：空軍官校一般教學部部主任。

副教授 梁燕祝

學歷：國立成功大學航空太空工程研究所博士，現職：現任空軍官校一般教學部航太系副教授。